

미세분의 종이내 거동 및 적용

이진호 · 박종문

충북대학교 임산공학과

1. 서 론

종이는 섬유 네트워크 물질로서 섬유간 결합 형태 및 결합의 정도에 따라 종이의 물성이 결정된다고 할 수 있다. 많은 연구에서 종이의 강도와 섬유의 강도간의 관계를 설명하고자 하였는데 Cox는 종이의 탄성을 섬유의 탄성과 응력의 확산인자 즉 결합정도의 인자의 곱으로 설명하였다. 종이의 물성을 섬유의 물성과 연관짓는 대부분의 모델들은 섬유의 물성과 결합인자의 관계로 설명되는데, 결국 종이는 섬유간 결합에 의해 섬유 자체의 강도가 얼마나 발현되는 가로 해석 할 수 있다.

한 예로, 간단한 page equation은 아래와 같은데,

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{F} + \frac{1}{B}$$

종이의 강도를 섬유의 강도와 결합 강도의 합으로 설명하고 있다. 이 식에서 결합강도가 무한대로 커지는 경우라 하더라도 종이의 강도는 섬유의 강도를 초과하지 못한다. 즉 종이의 강도는 섬유가 가진 강도가 결합에 의해서 얼마나 발현되는가의 문제로 해석 할 수 있다. 대부분의 지료 조성은 특별한 경우를 제외하고는 펄프가 가진 최대 강도까지 고해를 하여 사용하는 경우가 대부분이고 이에 따라 지료 안에는 많은 양의 미세분을 포함하게 된다. 때문에 섬유의 층간에 존재하는 미세분은 섬유의 결합에 지대한 영향을 미치는 인자로 존재하게 된다. 미세분의 기원, 화학적 조성, 펄핑 방법 등에 따른 물리적 거동에 대한 많은 연구가 진행 되었고 증명되었지만, 화학 펄프 미세분의 실험 및 해석의 경우 대부분이 NB에 대해서 행해진 경우가 대부분이었다. 현재 국내의 백상지는 NB 보다는 LB를 주종으로 사용하고 있는바 본 실험에서는 NB, LB, TMP 섬유의 미세분의 비교를 통해 미세분이 종이의 물성에 미치는 영향과 미세분의 적용에 대해서 알아보려고 하였다.

2. 실험 방법

2.1 재료

침엽수 표백 라디에타 파인, 활엽수 표백 유칼립투스, TMP 펄프를 사용하였고 실험에 사용된 고해도는 표 1과 같다.

Table 1. Pulp refining level

	NB	LB	TMP
Initial freeness(ml C.S.F.)	750	650	450
Final freeness (ml C.S.F.)	350	350	400

고해된 펄프를 200#와이어를 이용하여 미세분을 분리하여 농축 후 실험에 사용하였다.

2.2 실험 방법

미세분이 종이의 강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 습지 상태의 강도와 건조된 종이의 강도를 분석 하였다.

2.2.1 습지 강도 실험

습지의 강도는 미세분을 제거한 고해된 섬유에 미세분을 15% 첨가한 후 Seth등이 제안한 방법을 이용하여 습지필의 건조도가 증가함에 따른 종이의 인장 시험 물성을 분석 하였다. 시편은 길이 14 mm 폭 2.5 mm로 수초하여 Hounsfield 인장 시험기를 이용하여 1m/min의 속도로 시험 하였다.

2.2.2 건조 강도 실험

건조 강도는 미세분을 제거한 고해된 섬유에 미세분을 0, 5, 10, 15% 씩 각각 첨가하여 L & W 인장 강도 시험기를 이용하여 물성을 분석 하였다.

2.2.3 미세분의 이용

위의 실험 결과에서 얻어진 결과를 토대로 LWC 용도의 지료 조성에 미세분의 적용성을 시험 하였다. 지료 조성은 표 2와 같다.

Table 2. Stock mixing ratio for LWC

	STD	T-1	T-2	T-3
LB (%)	50	70	65	60
NB (%)	25	0	0	0
TMP (%)	25	25	25	25
NB fine (%)	0	5	10	15

3. 결 과

3.1 습지 물성

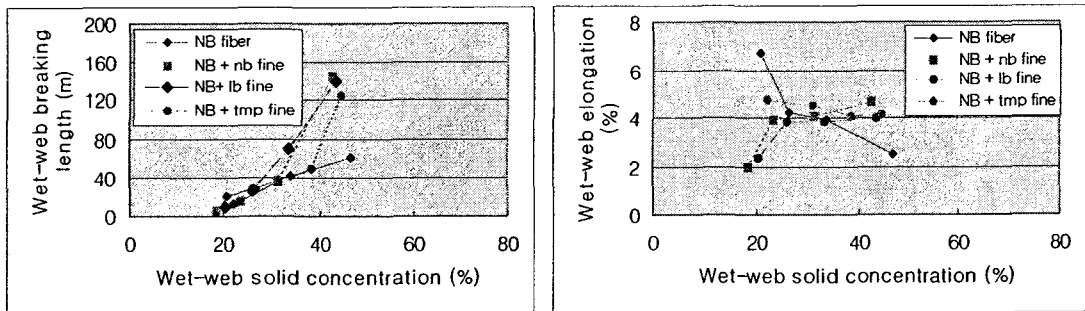


Fig. 1. Stress-strain curve of wet-samples depending on wet-pressing in NB fiber.

그림 1은 미세분을 제거한 NB 섬유에 미세분을 15% 첨가한 후 압착부의 건조도 증가에 따른 습지의 인장-변형의 변화를 나타낸 것으로 습지 상태에서 섬유 자체의 강도 발현과 미세분이 포함된 상태의 강도 발현 거동이 다른 것을 알 수 있다. 열단장의 경우 건조도가 증가함에 따라 증가하는 경향은 같지만 미세분이 포함됨에 따라 보다 높은 열단장을 나타내었다. 변형률의 경우 섬유 자체는 건조도가 증가함에 따라 변형

률이 감소하는 반면 미세분이 포함된 경우 TMP를 제외하고 NB와 LB 미세분은 변형률을 증가 시키는 것으로 나타났다.

습지 상태의 종이는 층간의 결합이 완전하게 일어나지 않은 상태이기 때문에 지필이 하중을 받는 경우 섬유층의 파괴 보다는 섬유층 계면의 파괴가 유도될 것으로 예상되며, 이에 따라 섬유층간의 점착성 정도가 습지필의 강도와 신장에 영향을 미치게 된다.

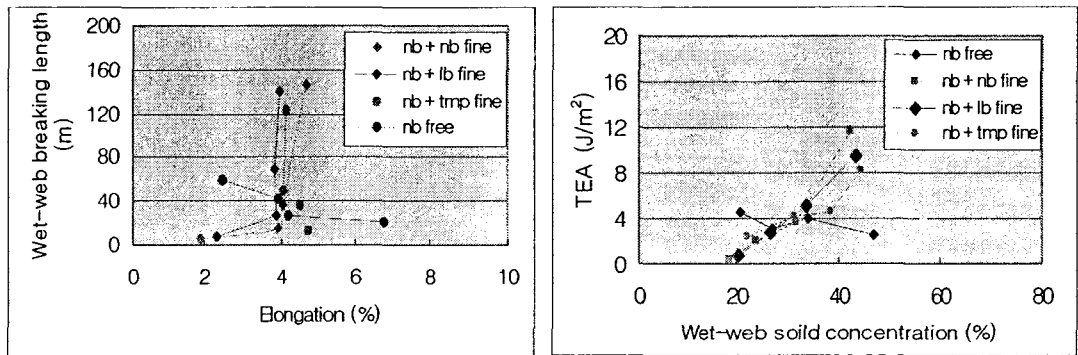


Fig. 2. Stress-strain curve and TEA of wet-samples in NB fiber.

그림 2는 인장-변형 곡선 및 습부 압착에 따른 TEA를 타나낸 것으로 섬유 자체의 인장-변형 거동과 미세분이 포함된 지료의 인장-변형 거동이 다른 것을 나타내며, 피브릴화 되어있는 섬유 보다는 미세분이 포함되어 있는 경우가 보다 높은 인장 특성을 나타냄을 알 수 있다. 인장 특성에 대한 미세분의 영향 정도는 NB>LB>TMP 순으로 나타났다.

그림 3은 미세분을 제거한 LB 섬유 및 미세분 첨가에 따른 습지 인장 특성을 나타낸 것으로, LB 섬유는 NB 섬유와 다른 거동을 하는 것을 알 수 있다. LB 섬유 자체의 경우 압착부의 농도가 30% 정도 이전까지는 강도를 거의 나타내지 못하며 미세분이 첨가됨에 따라 인장 및 변형률이 모두 증가하지만 값은 NB 섬유에 미치지 못하였다. 미세분이 인장 특성에 미치는 정도는 NB>LB>TMP 순으로 NB 섬유의 실험과 같게 나타났다. 위의 결과에서 초지시 습지의 강도는 구성하는 주성분이 섬유 및 미세분 따라 확연히 다른 경향을 나타냄을 알 수 있고, 미세분의 기원에 따라 약간씩 차이는

나타내지만 미세분 자체는 습지 강도에 긍정적인 영향을 미침을 알 수 있다.

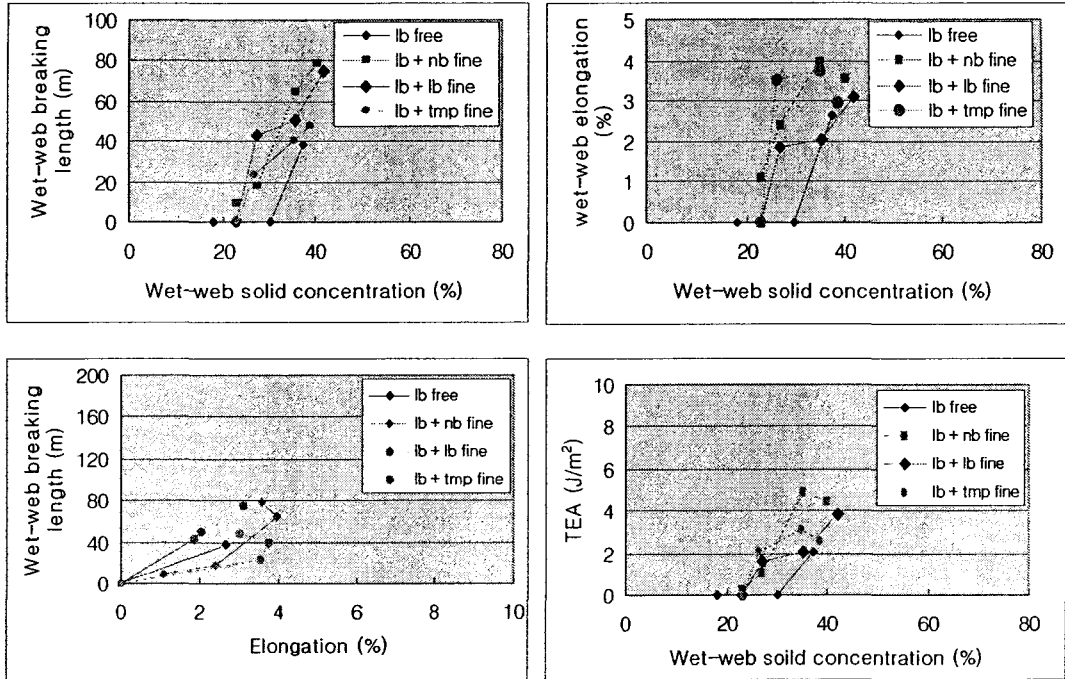


Fig. 3. Tensile properties of wet-samples depending on wet-pressing in LB fiber.

3.2 건조 물성

그림 4는 NB 및 LB 섬유에 미세분을 첨가함에 열단장 및 변형률의 변화를 나타낸 것으로 세 미세분이 서로 다른 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. NB와 LB 미세분의 경우 인장 특성에 향상을 가져오는 반면 TMP 미세분의 경우 인장 특성의 감소를 나타내었다. 특이한 것은 NB와 LB 미세분의 계면 산란력과 강도간의 관계가 다르다는 것이다. NB 미세분의 경우 인장 특성의 개선을 가져오면서 섬유간 계면 산란력의 감소를 나타내는 반면, LB 미세분의 경우 인장 특성의 개선은 가져오지만 산란력의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 LB 미세분의 조성의 특성에서 기인한 것으로 판단되는데, LB 섬유의 경우 섬유 이외에 결합성이 낮은 도관이나 유세포등이 다량으로 포함되어 있어 고해시 미세분내에 피브릴성 미세분 및 비피브릴성 미세분이 혼재되어 있기 때문으로 판단된다. 미세분의 첨가에 따라 미세분이 섬유 층간의 가교 역할에 의

한 인장 물성 증가는 기계 펄프 미세분은 없으며, 화학 펄프 미세분의 경우 물성의 향상은 가져오지만 그 기작은 약간 다르다.

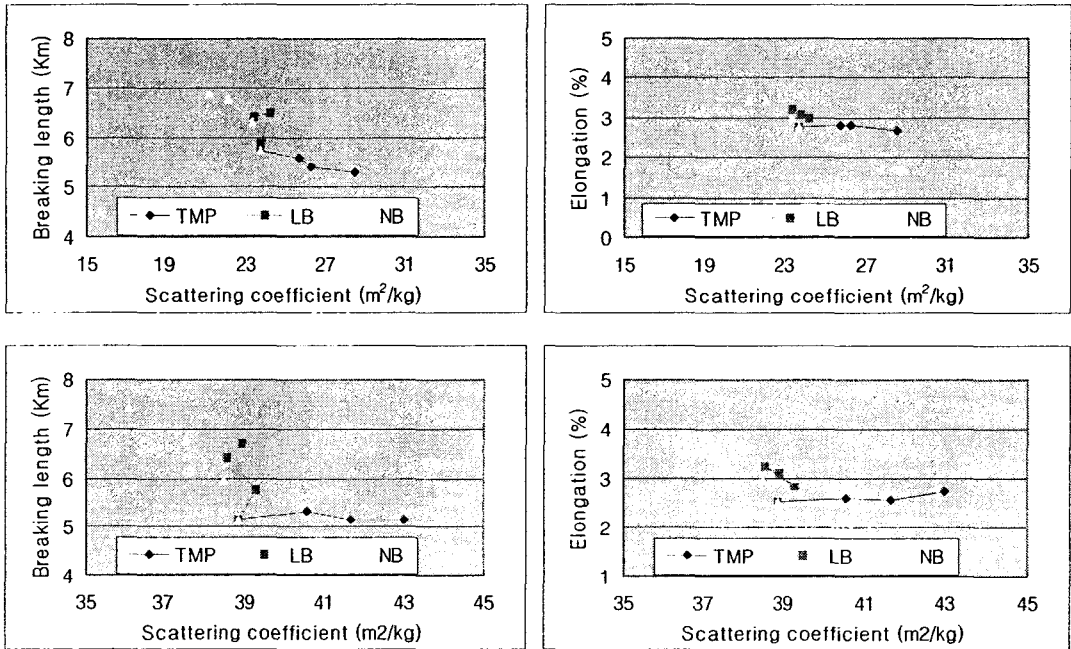


Fig. 4. Influence of fines on reflectance and strength properties.

3.3 파괴 물성

그림 5는 미세분이 파괴 시험시 물성의 변화를 나타낸 것으로, 화학 펄프 미세분의 첨가는 물성의 향상의 가져 오지만 기계 펄프 미세분은 물성의 저하를 나타내었다. 파괴 시험은 결점에 의한 응력 집중에 따른 거동을 보이기 때문에 일반 물성 시험에서의 지합과 같은 실제적인 결합 이외의 인자를 배제 할 수 있다. 따라서 파괴 시험시 물성의 증가는 섬유간 실제적인 결합에 기인한 것으로 해석 할 수 있다. TMP 미세분의 경우 섬유에 따른 파괴 물성의 변화가 약간 다른데, NB 섬유의 경우 물성의 저하가 나타나지만 LB 섬유의 경우는 섬유 자체의 물성과 별다른 차이를 나타내지 않는다. 이는 섬유의 파괴 거동이 다르기 때문으로 NB의 경우 섬유의 파괴가 유도되고 LB의 경우 계면의 파괴가 유도되기 때문에 계면의 결합력이 적은 LB 섬유의 경우 TMP 미세분 첨가에 따른 물성의 저하가 뚜렷이 나타나지 않게 된다.

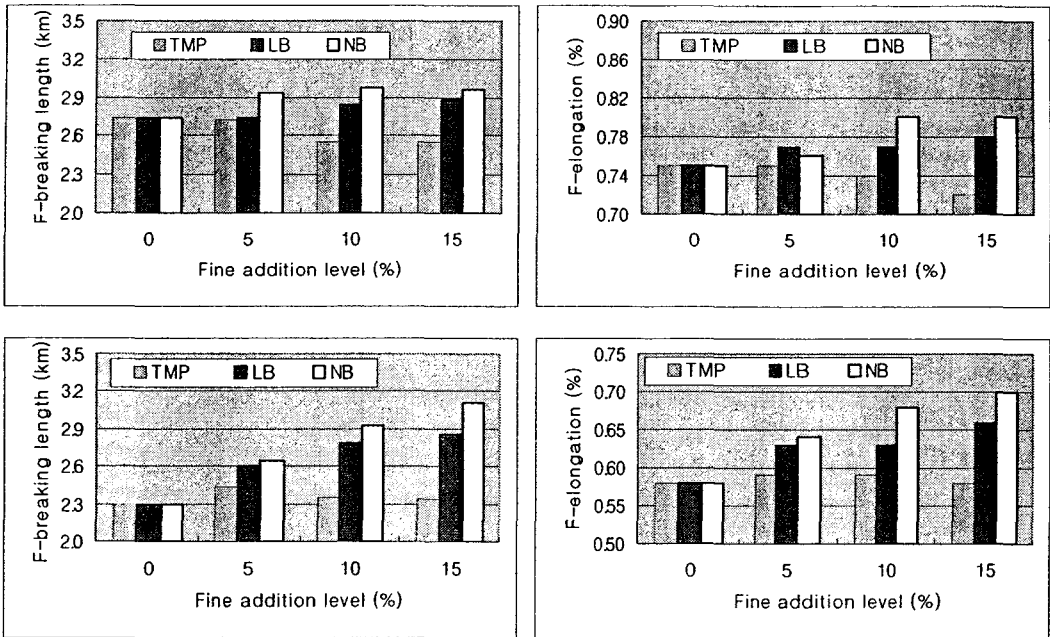


Fig. 5. Influence of fines on fracture-tensile properties.

3.4 LWC지에 미세분 적용

LWC는 경량 도공지로서 원지의 낮은 평량으로 인해 불투명도가 중요한 물성중의 하나이다. 미세분 첨가로 인한 물성의 변화 중 10%정도 까지 불투명도의 저하는 나타나지 않았으며, 면성 개선 효과를 얻을 수 있었다. 그림 7은 배합비 변화에 따른 인장 특성의 변화를 나타낸 것으로 미세분 첨가에 따라 에너지 흡수와 tensile stiffness가 기준 배합에 비해 저하되지 않는 물성을 나타내었다. 그림 8은 미세분 첨가에 따른 파괴 인성의 변화를 나타낸 것으로 원지 배합의 증강용 NB 섬유 대신 미세분 처리만으로도 종이의 파괴 인성이 크게 저해되지 않는 것을 알 수 있다.

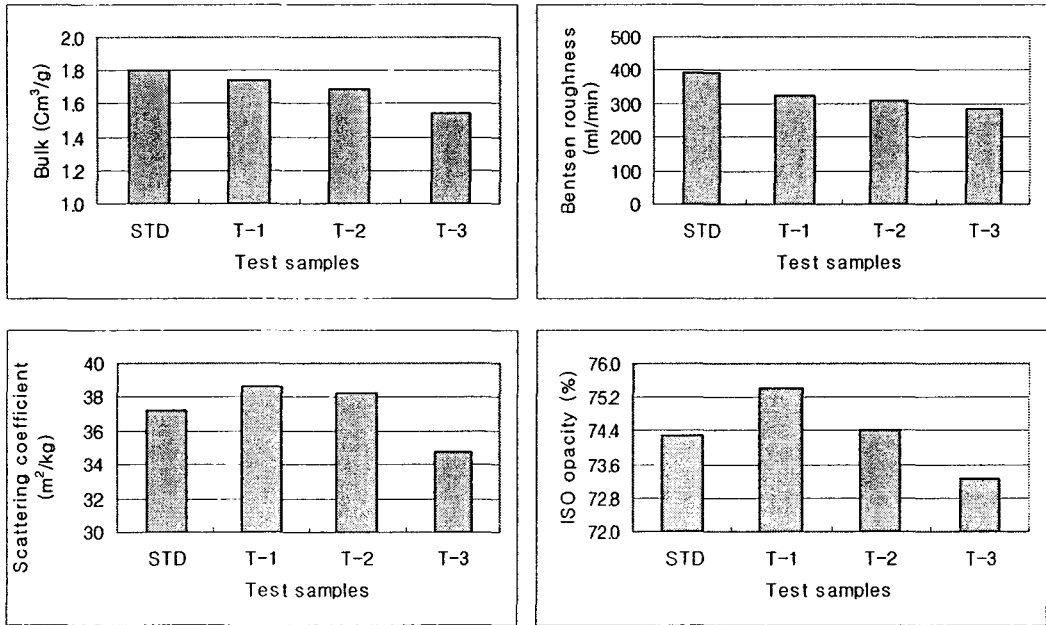


Fig. 6. Comparison of structural changes between test samples.

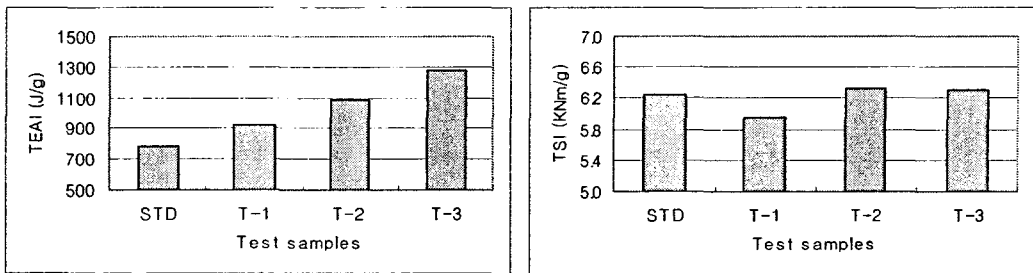


Fig. 7. Comparison of tensile properties between test samples.

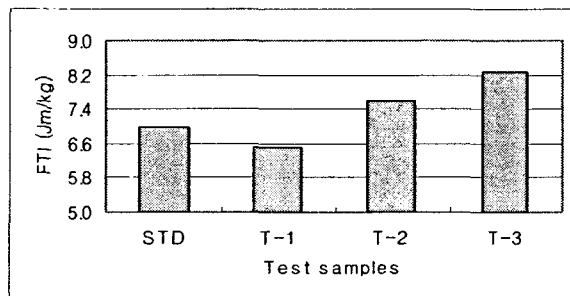


Fig. 8. Comparison of FTI on test samples.

4. 결 론

미세분은 생성 기원, 수종, 펄핑 방법, 크기 등 여러 가지 방법에 의해 분류 되고, 각기 다른 특성을 나타낸다. 본 실험에서는 화학 펄프와 기계 펄프의 미세분이 습지 및 건조 물성에 미치는 영향 및 적용성을 검토해 보았다.

화학 펄프 미세분의 경우 습지 및 건조 강도를 모두 증가시키기는 하지만 펄프의 수종에 따라 물성에 미치는 영향이 약간 달랐고, 이는 수종의 구성 성분의 차이에 기인한 것으로 판단되었다.

기계 펄프의 경우 많은 문헌에서 알려진 바와 같이 강도적 특성에는 별다른 영향을 미치지 않았다.

LWC에 미세분을 적용한 결과 증강용 NB 섬유 대신에 미세분 처리만으로도 대등 또는 향상된 물성을 기대할 수 있었다.

참고 문헌

1. J.A. Van den akker, Structural Aspects of bonding, Tappi J., 42(12): 940-947 (1959).
2. Derek H. Page, The meaning of Nordman bonding strength, NPPRJ., 17(1): 39-43 (2002)
3. R.S. Seth, M.C. Barbe, J.C.R. Williams, and D.H. Page, The strength of wet web: a new approach, Tappi J., 65(3): 135-139.
4. E. Retulainen, P. Moss, and K. Nieminen, Effect of fines on properties of fiber networks, Transaction of the tenth fundamental research symposium, vol. 2. pp. 727-769.